

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی قزوین

# بررسی کارایی فرایند ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی (ECF)، و فیزیکی جهت تصفیه پساب کارواش

استاد مشاور:  
دکتر حمزه علی جمالی

استاد راهنما:  
دکتر محمد مهدی امام جمعه

دانشجو:  
میلاد موسی زاده

شهریور - ۱۳۹۸

## بیان مسئله و مقدمه

✓ مصرف بالای آب در صنایع کارواش ← فاضلاب تولیدی بالا ← الزام وجود سیستم تصفیه مناسب ← استفاده مجدد و بازیابی (۱،۲)

✓ شهر قزوین، عدم وجود قوانین سختگیرانه محیط زیستی ← تخلیه به چاه ها



✓ فاضلاب کارواش، طیف وسیعی از آلاینده ها: ترکیبات آلی، فلزات سنگین، دترجنت ها (۳، ۴)

✓ عدم کارایی تصفیه مطلوب فاضلاب کارواش با روش های متداول: جذب سطحی، ازن زنی، فرآیندهای بیولوژیکی و تبادل یون (۵)



## بیان مسئله و مقدمه

✓ روش انعقاد شناور سازی الکتریکی ← حذف طیف وسیعی از آلاینده ها و روشی مقرون به صرفه (۶)

✓ فرآیند الکتروشیمیایی + ته نشینی + فیلتراسیون ← فرآیندی کارآمد و مقرون به صرفه

✓ در این تحقیق سیستم ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی و فیزیکی با تاثیر متغیرهای کلیدی از قبیل pH، شدت جریان و زمان الکترولیز بر روی حذف آلاینده های COD، کدورت و دترجنت بکار گرفته شد.

کاهش تعداد آزمون ها

صرفه جویی در هزینه

تجزیه و تحلیل داده ها

دستیابی به شرایط بهینه

✓ روش سطح پاسخ (RSM)



## اهداف پژوهش

### هدف کلی:

بررسی کارایی فرایند ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی (ECF)، و فیزیکی جهت تصفیه پساب کارواش

### اهداف اختصاصی:

- ✓ تعیین اثر تغییرات pH فرآیند انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارواش
- ✓ تعیین اثر مقدار جریان الکتریکی فرایند انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارواش
- ✓ تعیین اثر زمان الکترولیز فرایند انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارواش



## اهداف پژوهش

### اهداف اختصاصی (ادامه) :

- ✓ تعیین راندمان حذف COD با استفاده از فرایند ترکیبی جهت تصفیه پساب کارواش
- ✓ تعیین راندمان حذف کدورت با استفاده از فرایند ترکیبی جهت تصفیه پساب کارواش
- ✓ تعیین راندمان حذف دترجنت با استفاده از فرایند ترکیبی جهت تصفیه پساب کارواش



## سوالات پژوهشی

- ✓ آیا تغییرات pH فرآیند انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارواش تاثیر دارد؟
- ✓ آیا مقدار جریان الکتریکی فرایند انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارواش تاثیر دارد؟
- ✓ آیا زمان الکترولیز فرآیند انعقاد الکتریکی در تصفیه پساب کارواش تاثیر دارد؟
- ✓ راندمان حذف COD با استفاده از فرایند ترکیبی جهت تصفیه پساب کارواش چقدر است؟
- ✓ راندمان حذف کدورت با استفاده از فرایند ترکیبی جهت تصفیه پساب کارواش چقدر است؟
- ✓ راندمان حذف دترجنت با استفاده از فرایند ترکیبی جهت تصفیه پساب کارواش چقدر است؟





## مروری بر مطالعات و متون گذشته

| محققین           | سال  | یافته ها  |
|------------------|------|---|
| گوندر و همکاران  | ۲۰۱۹ | با استفاده از فرآیند انعقاد الکتریکی (الکترو دیتانیوم) و اثر پارامترهای pH، چگالی جریان و سرعت همزن به تصفیه فاضلاب کارواش پرداختند. تحت شرایط بهینه، حذف ۸۴ درصد از COD، ۹۹/۳ درصد از سورفاکتانت آنیونی و ۸۲ درصد از روغن و گریس و همچنین هزینه بهره برداری برابر ۹/۶۷ دلار بر متر مکعب بدست آمد.  |
| پریا و جیانتی    | ۲۰۱۹ | اثر پارامترهای فاصله بین الکترودها، چگالی جریان، زمان تماس و pH با استفاده از الکترودهای آلومینیوم، آهن، استیل و مس جهت حذف آلاینده ها از فاضلاب کارواش انجام شد. تحت شرایط بهینه: فاصله ۵ سانتی متر بین الکترودها، چگالی جریان ۲۵ آمپر بر متر مربع، زمان تماس ۴۰ دقیقه و pH برابر ۶ میزان راندمان حذف COD، روغن-گریس و کدورت به ترتیب برابر ۹۵/۱ درصد، ۹۲/۵ درصد و ۹۹ درصد بدست آمد. |
| پانیزا و سریسولا | ۲۰۱۰ | در یک فرآیند ترکیبی دو مرحله ای با استفاده از فرآیند انعقاد الکتروشیمیایی با آند آهنی و اکسیداسیون الکتروشیمیایی با آندی از جنس BDD تصفیه فاضلاب کارواش انجام شد. تحت شرایط بهینه: pH برابر ۶/۴، زمان ۶۰ دقیقه و شدت جریان ۲ میلی آمپر بر سانتی متر مربع این فرآیند قادر به حذف ۷۵ درصدی COD با انرژی مصرفی ۰/۱۴ کیلو وات ساعت بر متر مکعب بود.                                       |



## مواد و روش کار

✓ مطالعه تجربی - در مقیاس آزمایشگاهی (Lab-Scale)

✓ برداشت نمونه فاضلاب از واحد کارواش مشخص شهر قزوین با هماهنگی محیط زیست

بصورت مرکب در ساعات مختلف روز



## مواد و روش کار

✓ اندازه گیری COD:

✓ مطابق با روش استاندارد متود شماره 5220D (روش رفلکس بسته رنگ سنجی)

✓ روش کار: ابتدا راکتور COD تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد گرم شد، به ویال های COD، ۲CC

نمونه +CC/۵ ۱ محلول هضم +CC/۵ ۳ معرف اسید سولفوریک اضافه شد. ۲ ساعت ویال ها در راکتور هضم COD قرار داده شد (۷).

✓ قرائت غلظت نمونه ها ← دستگاه اسپکتروفتومتر DR6000 (طول موج ۶۲۰ نانومتر)

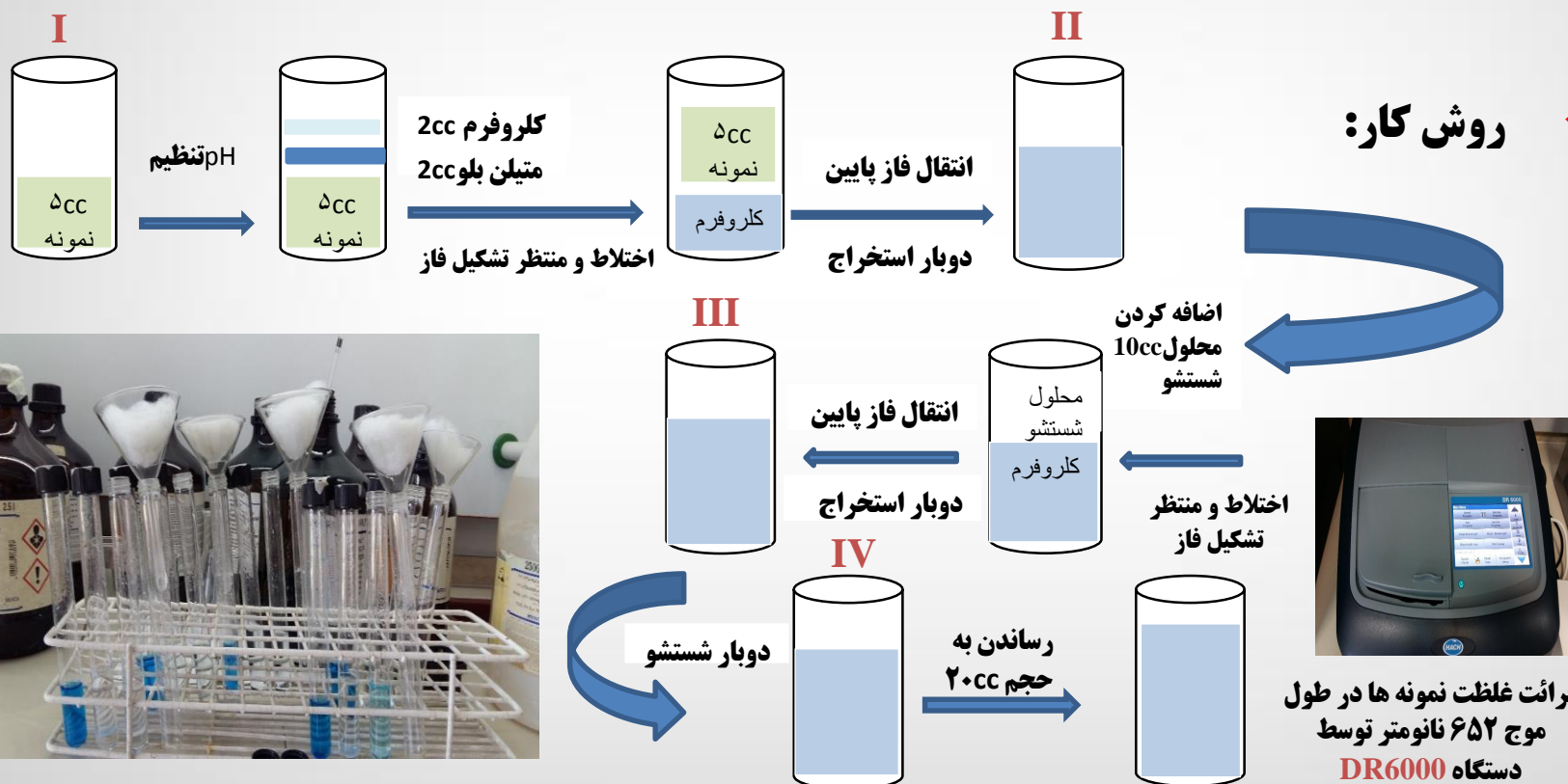


# مواد و روش کار

✓ اندازه گیری دترجنت:

✓ مطابق با روش ارائه شده توسط **چیتیکلا و همکاران (۸)** ← بر حسب عوامل فعال متیلن بلو

✓ روش کار:



## مواد و روش کار

✓ اندازه گیری کدورت:

✓ روش نفلومتری (۷) ← گزارش بر حسب NTU

✓ روش کار: کالیبر دستگاه ← یکنواخت کردن نمونه

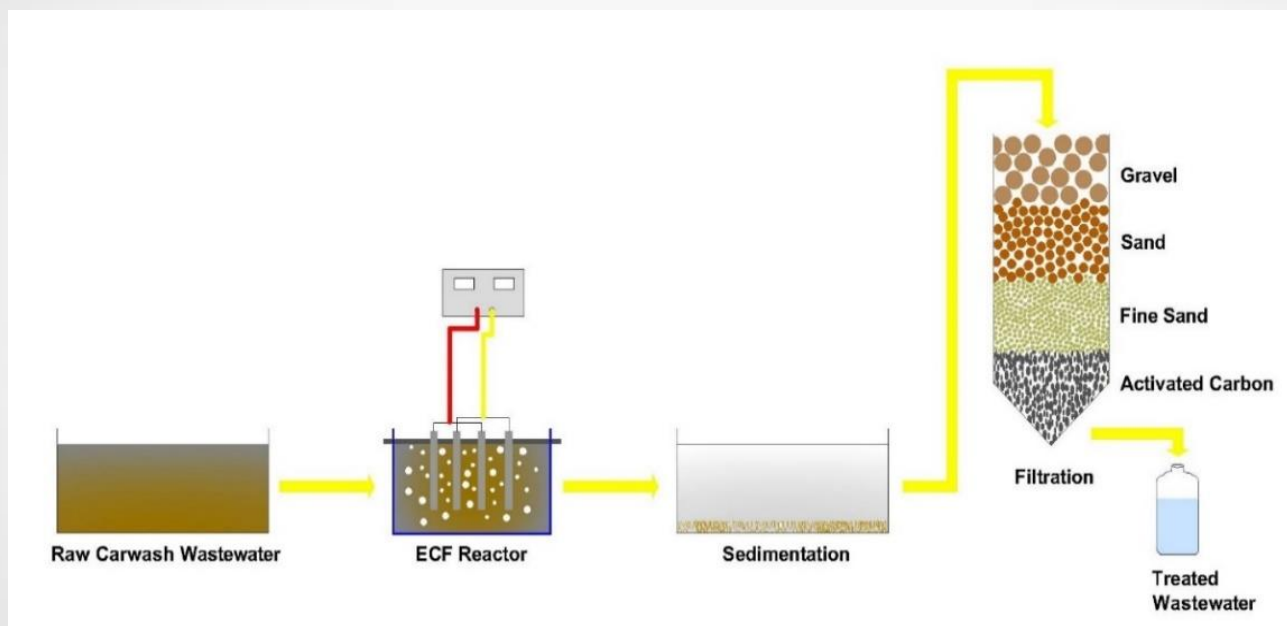
قرار دادن در دستگاه کدورت سنج → داخل سل ریخته

قرائت کدورت نمونه (NTU)



## مواد و روش کار

✓ راه اندازی سیستم ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی (ECF)، و فیزیکی:



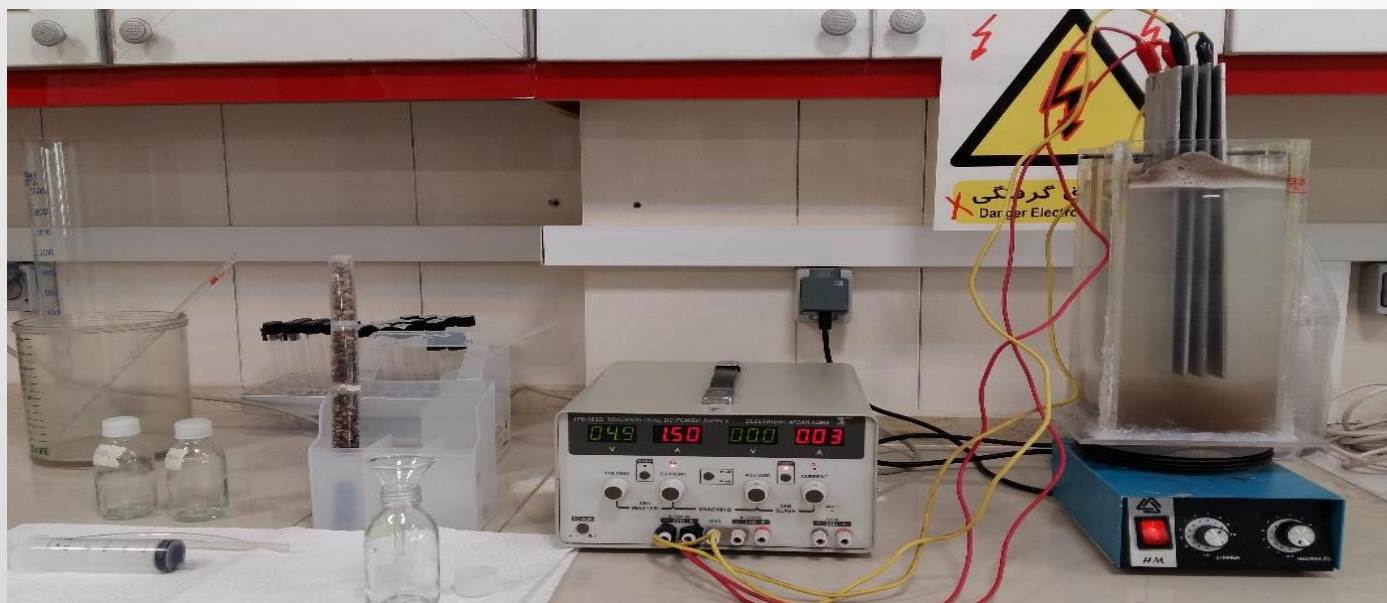
شماتیک سیستم ترکیبی



## مواد و روش کار

✓ راه اندازی سیستم ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی (ECF)، و فیزیکی:

✓ انتقال نمونه به راکتور ECF ← برداشت نمونه تصفیه شده ← انتقال به مخزن ته نشینی (۲۰ دقیقه) ← برداشت و عبور نمونه از فیلتراسیون



# توصیف روش تجزیه و تحلیل آماری داده ها

انجام آزمایشات مقدماتی و تعیین دامنه متغیرهای مستقل: ۲۰ آزمایش اصلی

مدلسازی: طرح مرکب مرکزی با پنج سطح برای سه متغیر pH، شدت جریان و زمان الکترولیز

RSM

بهینه سازی: مقادیر فاکتورها ← In range و پاسخ ها ← Maximize

مقادیر واقعی و کدبندی شده متغیرهای مستقل

| متغیر                      | سطح واقعی و کدگذاری شده |    |     |      |        |
|----------------------------|-------------------------|----|-----|------|--------|
|                            | ۱                       | ۰  | ۱   | ۱/۶۸ | ۱/۶۸   |
| (A) pH                     | ۳                       | ۵  | ۷   | ۹    | ۱۰/۳۶  |
| شدت جریان (آمپر) (B)       | ۰/۶۶                    | ۱  | ۱/۵ | ۲    | ۲/۳۴   |
| زمان الکترولیز (دقیقه) (C) | ۹/۵۵                    | ۳۰ | ۶۰  | ۹۰   | ۱۱۰/۴۵ |



## مواد و روش کار

✓ ملاحظات اخلاقی:

✓ ذخیره سازی پسماندهای تولیدی با رعایت اصول ایمنی جهت مدیریت آتی

✓ محدودیت ها:

✓ عدم همکاری و هماهنگی تمامی واحدهای کارواش جهت نمونه برداری

✓ مشکلات در بهره برداری پایلوت و همچنین احتمال خرابی وسایل و تجهیزات

✓ محدود بودن زمان کار در آزمایشگاه به بازه زمانی اداری



## یافته ها

## جدول ۴-۱- مشخصات فاضلاب واقعی واحد کارواش

| پارامتر        | واحد          | رنج تغییرات |
|----------------|---------------|-------------|
| COD            | mg/L          | ۲۲۹-۱۴۴۶    |
| دترجنت         | mg/L          | ۲۵-۳۵۳      |
| کدورت          | NTU           | ۱۳۷-۲۲۵۰    |
| pH             | -             | ۷/۷-۸/۲     |
| هدایت الکتریکی | $\mu\text{s}$ | ۶۳۵-۱۸۹۰    |



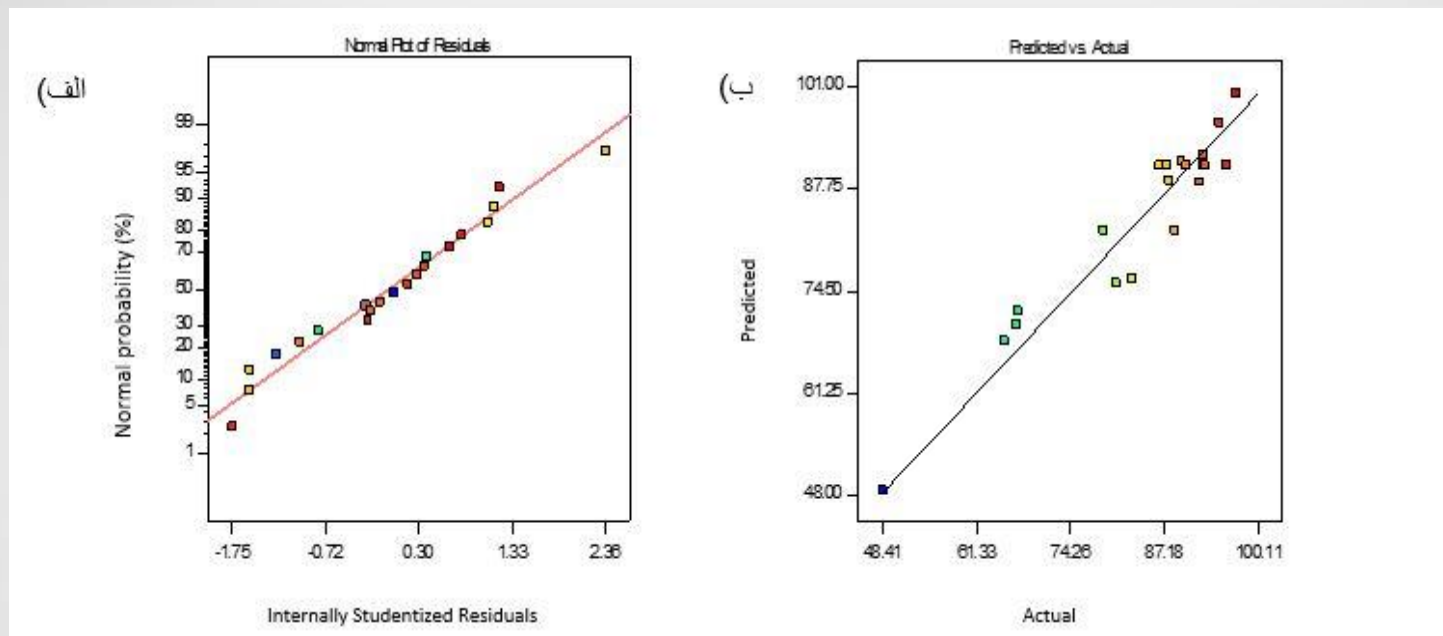
## یافته ها

## جدول ۴-۲- ماتریس طراحی آزمایش های مرکب مرکزی و پاسخ های مربوطه برای حذف دترجنت، COD و کدورت

| راندمان حذف (%) |            |              |            |              |            | زمان<br>الکترولیز<br>(دقیقه) | شدت جریان<br>(آمپر) | pH    | آزمایشات |
|-----------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|------------------------------|---------------------|-------|----------|
| کدورت           |            | COD          |            | دترجنت       |            |                              |                     |       |          |
| پیش بینی شده    | آزمایشگاهی | پیش بینی شده | آزمایشگاهی | پیش بینی شده | آزمایشگاهی |                              |                     |       |          |
| ۱۰۰/۱۱          | ۹۷         | ۹۵/۲۶        | ۹۶/۹۵      | ۶۴/۴۲        | ۶۹/۹۱      | ۹۰                           | ۲                   | ۵     | ۱        |
| ۷۵/۵۱           | ۸۰/۵۰      | ۶۹/۸۳        | ۷۰/۵۱      | ۳۴/۵۲        | ۲۹         | ۳۰                           | ۲                   | ۵     | ۲        |
| ۶۸/۰۴           | ۶۵/۱۳      | ۵۶/۹۵        | ۵۷         | ۶۵/۷۳        | ۶۵/۸۵      | ۹/۵۵                         | ۱/۵                 | ۷     | ۳        |
| ۹۲/۰۸           | ۹۲/۵۳      | ۸۶/۹۷        | ۸۹         | ۶۳/۹۵        | ۸۲/۶۴      | ۶۰                           | ۲/۳۴                | ۷     | ۴        |
| ۹۰/۷۲           | ۸۷/۵۱      | ۹۴/۸۴        | ۹۵/۶۱      | ۹۰/۷۶        | ۹۱/۶۵      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۷     | ۵        |
| ۹۰/۷۲           | ۹۲/۴۲      | ۹۴/۸۴        | ۹۸/۱۵      | ۹۰/۷۶        | ۹۰/۱۴      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۷     | ۶        |
| ۹۰/۷۲           | ۹۰/۲۵      | ۹۴/۸۴        | ۹۵/۸۵      | ۹۰/۷۶        | ۹۰/۵۰      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۷     | ۷        |
| ۸۸/۵۹           | ۹۲         | ۹۹/۹۷        | ۹۶/۹       | ۱۰۱/۴۴       | ۹۵/۷۵      | ۹۰                           | ۲                   | ۹     | ۸        |
| ۹۱/۳۷           | ۸۹/۵۸      | ۹۵/۲۶        | ۹۳/۵       | ۹۳/۰۱        | ۹۹         | ۹۰                           | ۱                   | ۹     | ۹        |
| ۹۶/۳۹           | ۹۴/۸۰      | ۹۶/۱۵        | ۹۷/۶۳      | ۹۴/۵۲        | ۹۳/۷۳      | ۱۱۰/۴۵                       | ۱/۵                 | ۷     | ۱۰       |
| ۹۰/۷۲           | ۹۲/۷۰      | ۹۴/۸۴        | ۹۴/۲۰      | ۹۰/۷۶        | ۹۴/۴۶      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۷     | ۱۱       |
| ۸۲/۴۰           | ۷۸/۸۸      | ۶۳/۵۹        | ۶۱/۰۳      | ۷۷           | ۸۱/۶۰      | ۳۰                           | ۲                   | ۹     | ۱۲       |
| ۷۱/۸۷           | ۶۷         | ۹۷/۵۶        | ۹۷/۰۷      | ۹۵/۰۶        | ۹۳/۵۲      | ۶۰                           | ۰/۶۶                | ۷     | ۱۳       |
| ۹۰/۷۲           | ۹۵/۷۱      | ۹۴/۸۴        | ۹۴/۴۹      | ۹۰/۷۶        | ۹۴/۳۴      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۷     | ۱۴       |
| ۷۰/۲۰           | ۶۶/۸۰      | ۹۲/۹۸        | ۹۰         | ۵۹/۰۱        | ۵۸/۰۷      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۳/۶۴  | ۱۵       |
| ۹۰/۷۲           | ۸۶/۴۸      | ۹۴/۸۴        | ۹۰/۵۰      | ۹۰/۷۶        | ۸۳/۵۶      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۷     | ۱۶       |
| ۴۸/۶۹           | ۴۸/۴۱      | ۸۷/۱۲        | ۸۹/۱۲      | ۷۹/۹۵        | ۸۶/۷۰      | ۳۰                           | ۱                   | ۵     | ۱۷       |
| ۸۸/۸۲           | ۸۷/۸۰      | ۸۵/۹۵        | ۹۰/۴۶      | ۹۷/۴۷        | ۹۷/۷۴      | ۶۰                           | ۱/۵                 | ۱۰/۳۶ | ۱۸       |
| ۷۶/۱۱           | ۸۲/۷۵      | ۹۷/۳۷        | ۹۸/۵۱      | ۸۹/۷۶        | ۸۵/۶۴      | ۹۰                           | ۱                   | ۵     | ۱۹       |
| ۸۲/۳۶           | ۸۸/۵۹      | ۷۴/۹۴        | ۷۵/۰۷      | ۸۸/۶۸        | ۸۳/۶۴      | ۳۰                           | ۱                   | ۹     | ۲۰       |

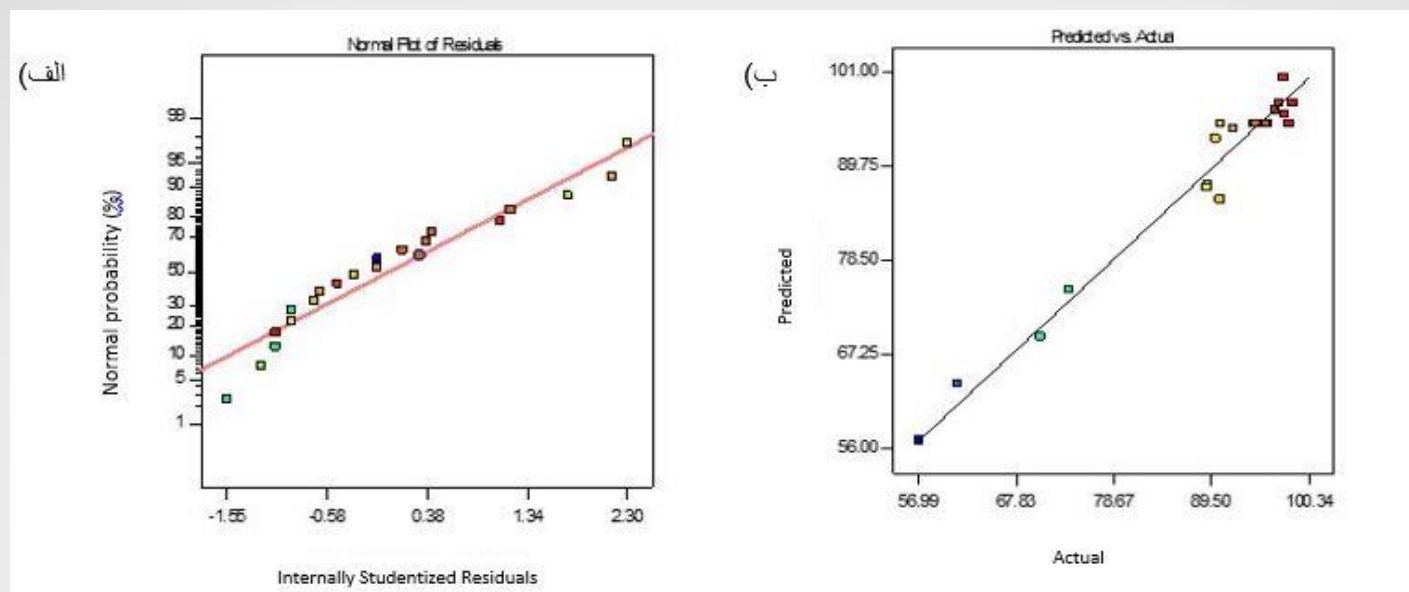


## یافته ها



شکل ۴-۱- پراکنش باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش داده شده  
در حذف COD

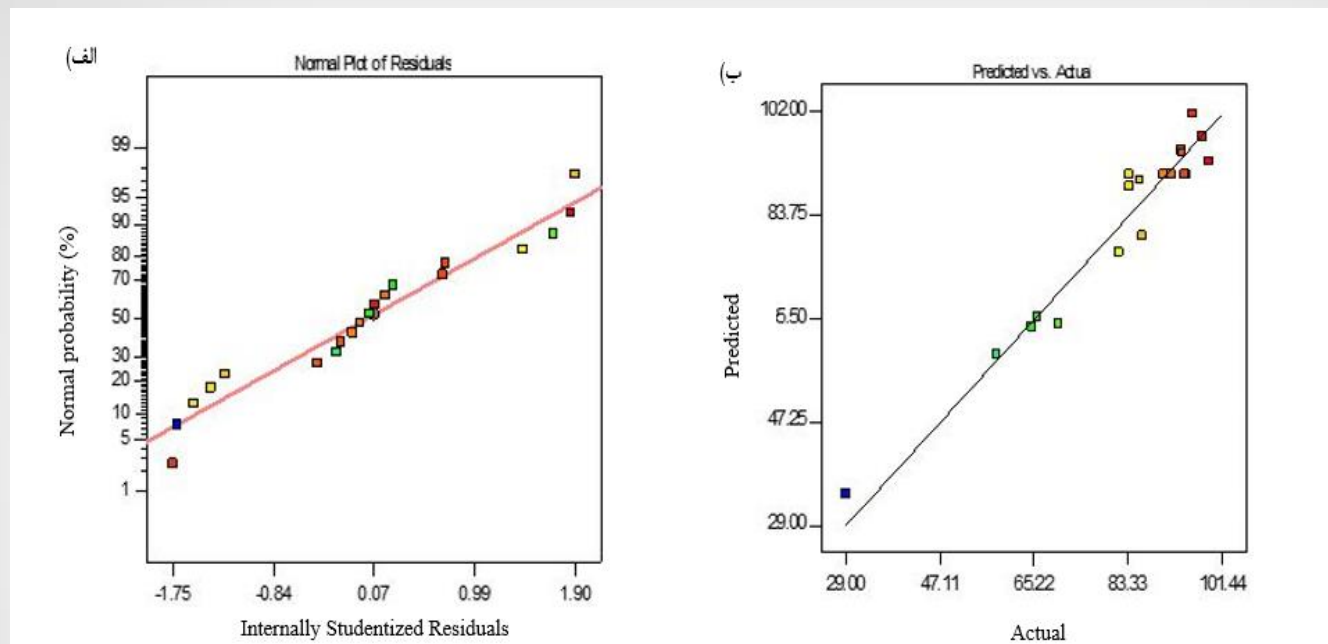
## یافته ها



**شکل ۴-۲- پراکنش باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش داده شده در حذف کدورت**



## یافته ها



شکل ۴-۳- پراکنش باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش داده شده  
در حذف دترجنت



مقدمه

مروری بر منابع

مواد و روش ها

نتایج و بحث

نتیجه گیری

پیشنهادهات

## یافته ها

## جدول ۴-۳- نتایج تحلیل واریانس و کفایت مدل مرتبه دوم طراحی آزمایش

| پاسخ ها                              | معادله نهایی   | سطح معناداری | احتمال نقض برازش | ضریب تبیین اصلاح شده | ضریب تبیین | دقت کافی    | انحراف معیار | ضریب تغییرات | مجموع مربعات خطای باقیمانده پیش بینی شده |
|--------------------------------------|--|--------------|------------------|----------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--|
| راندمان حذف دترجنت                   | $y = 90.76 + 11.43A - 9.25B + 8.56C + 8.44AB + 5.02BC - 4.43A^2 - 3.98B^2 - 3.76C^2$ | $< 0.001$    | $0.13$           | $0.94$               | $0.90$     | $1/90$<br>۶ | $5/60$       | $6/79$       | $2247/10$                                |
| راندمان حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی | $y = 94.84 - 2.09A - 3.15B + 11.66C + 2.49AC + 4.05BC + -1.9A^2 - 6.47C^2$           | $< 0.001$    | $0.25$           | $0.97$               | $0.94$     | $1/96$<br>۹ | $3/05$       | $3/44$       | $509/27$                                 |
| راندمان حذف کدورت                    | $y = 90.72 + 5.54A + 6.01B + 8.4C - 6.29AB - 4.60AC - 3.69A^2 - 3.09B^2 - 3.02C^2$   | $< 0.002$    | $0.12$           | $0.92$               | $0.84$     | $1/47$<br>۴ | $5/03$       | $8/84$       | $1723/13$                                |





## یافته ها

جدول ۴-۴- نتایج آنالیز واریانس و متغیرهای مستقل در مدل حذف COD

| منبع تغییرات      | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F-Value  | سطح معنی داری<br>Prob>F |
|-------------------|--------------|------------|----------------|----------|-------------------------|
| مدل               | ۲۸۷۴ / ۰۳    | ۹          | ۳۱۹ / ۳۴       | ۳۴ / ۳۶  | < ۰ / ۰۰۰۱              |
| A- pH             | ۵۹ / ۵۹      | ۱          | ۵۹ / ۵۹        | ۶ / ۴۱   | ۰ / ۰۲۹۸                |
| شدت جریان B-      | ۱۳۵ / ۳۴     | ۱          | ۱۳۵ / ۳۴       | ۱۴ / ۵۶  | ۰ / ۰۰۳۴                |
| زمان الکترولیز C- | ۱۸۵۵ / ۱۵    | ۱          | ۱۸۵۵ / ۱۵      | ۱۹۹ / ۶۳ | < ۰ / ۰۰۰۱              |
| AB                | ۱۶ / ۹۴      | ۱          | ۱۶ / ۹۴        | ۱ / ۸۲   | ۰ / ۰۲۰۶۸               |
| AC                | ۴۹ / ۵۰      | ۱          | ۴۹ / ۵۰        | ۵ / ۳۳   | ۰ / ۰۴۳۷                |
| BC                | ۱۳۱ / ۰۶     | ۱          | ۱۳۱ / ۰۶       | ۱۴ / ۱۰  | ۰ / ۰۰۳۸                |
| A <sup>2</sup>    | ۵۲ / ۱۶      | ۱          | ۵۲ / ۱۶        | ۵ / ۶۱   | ۰ / ۰۳۹۳                |
| B <sup>2</sup>    | ۱۱ / ۹۵      | ۱          | ۱۱ / ۹۵        | ۱ / ۲۹   | ۰ / ۰۲۸۳۲               |
| C <sup>2</sup>    | ۶۰۲ / ۹۹     | ۱          | ۹ / ۲۹         | ۶۴ / ۸۹  | < ۰ / ۰۰۰۱              |
| خطای باقیمانده    | ۹۲ / ۹۳      | ۱۰         | ۱۲ / ۲۰        |          |                         |
| عدم برازش         | ۶۱ / ۰۰      | ۵          | ۶ / ۳۹         | ۱ / ۹۱   | ۷۲ / ۲۴                 |
| خطای خالص         | ۳۱ / ۹۳      | ۵          |                |          |                         |
| مجموع             | ۲۹۶۶ / ۹۶    | ۱۹         |                |          |                         |



## یافته ها

جدول ۴-۵- نتایج آنالیز واریانس و متغیرهای مستقل در مدل حذف کدورت

| منبع تغییرات      | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F-Value | سطح معنی داری<br>Prob>F |
|-------------------|--------------|------------|----------------|---------|-------------------------|
| مدل               | ۲۸۲۴ / ۲۶    | ۹          | ۳۱۳ / ۸۱       | ۱۲ / ۴۳ | ۰ / ۰۰۰۲                |
| A- pH             | ۴۱۸ / ۸۰     | ۱          | ۴۱۸ / ۸۰       | ۱۶ / ۵۸ | ۰ / ۰۰۲۲                |
| شدت جریان B-      | ۴۹۳ / ۱۵     | ۱          | ۴۹۳ / ۱۵       | ۱۹ / ۵۳ | ۰ / ۰۰۱۳                |
| زمان الکترولیز C- | ۹۶۴ / ۴۹     | ۱          | ۹۶۴ / ۴۹       | ۳۸ / ۱۹ | ۰ / ۰۰۰۱                |
| AB                | ۳۵۸ / ۴۵     | ۱          | ۳۵۸ / ۴۵       | ۱۴ / ۱۹ | ۰ / ۰۰۳۷                |
| AC                | ۱۶۹ / ۳۷     | ۱          | ۱۶۹ / ۳۷       | ۶ / ۷۱  | ۰ / ۰۲۷۰                |
| BC                | ۳ / ۹۶       | ۱          | ۳ / ۹۶         | ۰ / ۱۶  | ۰ / ۷۰۰۴                |
| A <sup>2</sup>    | ۲۲۶ / ۵۱     | ۱          | ۲۲۶ / ۵۱       | ۸ / ۷۹  | ۰ / ۰۱۳۵                |
| B <sup>2</sup>    | ۱۳۷ / ۸۷     | ۱          | ۱۳۷ / ۸۷       | ۵ / ۴۶  | ۰ / ۰۴۱۶                |
| C <sup>2</sup>    | ۱۳۱ / ۶۴     | ۱          | ۱۳۱ / ۶۴       | ۵ / ۲۱  | ۰ / ۰۴۵۵                |
| خطای باقیمانده    | ۲۵۲ / ۵۶     | ۱۰         | ۲۵ / ۲۶        |         |                         |
| عدم برازش         | ۱۹۲ / ۳۷     | ۵          | ۳۸ / ۴۷        | ۳ / ۲۰  | ۰ / ۱۱۴۰                |
| خطای خالص         | ۶۰ / ۱۸      | ۵          | ۱۲ / ۰۴        |         |                         |
| مجموع             | ۳۰۷۶ / ۸۱    | ۱۹         |                |         |                         |



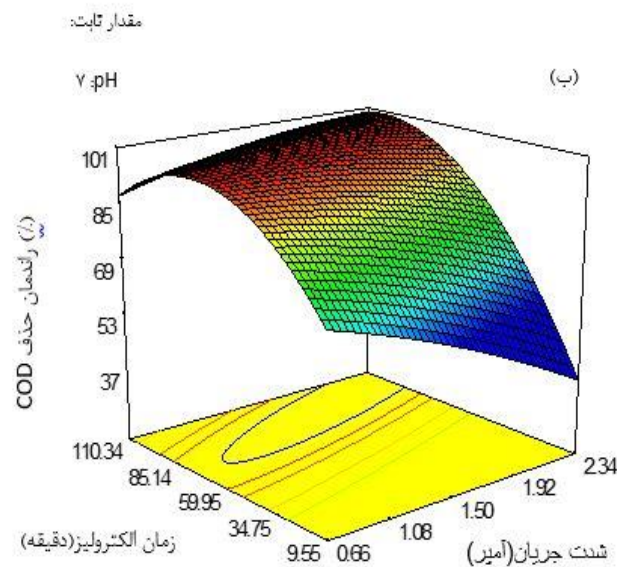
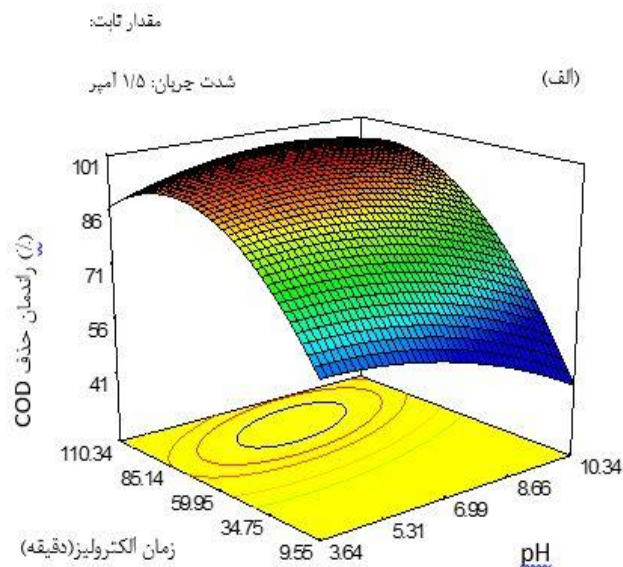
## یافته ها

### جدول ۴-۶- نتایج آنالیز واریانس و متغیرهای مستقل در مدل حذف دترجنت

| منبع تغییرات      | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F-Value | سطح معنی داری<br>Prob>F |
|-------------------|--------------|------------|----------------|---------|-------------------------|
| مدل               | ۵۳۳۷/۶۴      | ۹          | ۵۹۳/۰۷         | ۱۸/۹۲   | < ۰/۰۰۰۱                |
| A- pH             | ۱۷۸۴/۸۶      | ۱          | ۱۷۸۴/۸۶        | ۵۶/۹۳   | < ۰/۰۰۰۱                |
| شدت جریان B-      | ۱۱۶۸/۳۶      | ۱          | ۱۱۶۸/۳۶        | ۳۷/۲۶   | ۰/۰۰۰۱                  |
| زمان الکترولیز C- | ۱۰۰۰/۹۶      | ۱          | ۱۰۰۰/۹۶        | ۳۱/۹۲   | ۰/۰۰۰۲                  |
| AB                | ۵۷۰/۳۸       | ۱          | ۵۷۰/۳۸         | ۱۸/۱۹   | ۰/۰۰۱۶                  |
| AC                | ۱۴/۹۳        | ۱          | ۱۴/۹۳          | ۰/۴۸    | ۰/۵۰۵۸                  |
| BC                | ۲۰۱/۷۰       | ۱          | ۲۰۱/۷۰         | ۶/۴۳    | ۰/۰۲۹۵                  |
| A <sup>2</sup>    | ۲۸۲/۱۹       | ۱          | ۲۸۲/۱۹         | ۹/۰۰    | ۰/۰۱۳۳                  |
| B <sup>2</sup>    | ۲۲۸/۰۳       | ۱          | ۲۲۸/۰۳         | ۷/۲۷    | ۰/۰۲۲۴                  |
| C <sup>2</sup>    | ۲۰۳/۵۹       | ۱          | ۲۰۳/۵۹         | ۶/۴۹    | ۰/۰۲۹۰                  |
| خطای باقیمانده    | ۳۱۳/۵۴       | ۱۰         | ۳۱/۳۵          |         |                         |
| عدم برازش         | ۲۳۳/۹۵       | ۵          | ۴۶/۷۹          | ۲/۹۴    | ۰/۱۳۰۸                  |
| خطای خالص         | ۷۹/۵۹        | ۵          | ۱۵/۹۲          |         |                         |
| مجموع             | ۵۶۵۱/۱۸      | ۱۹         |                |         |                         |



## یافته ها

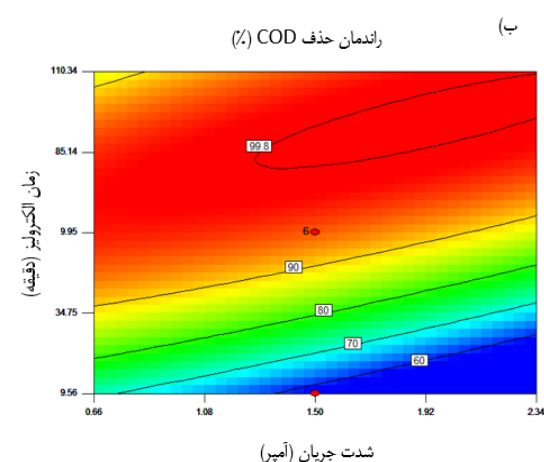
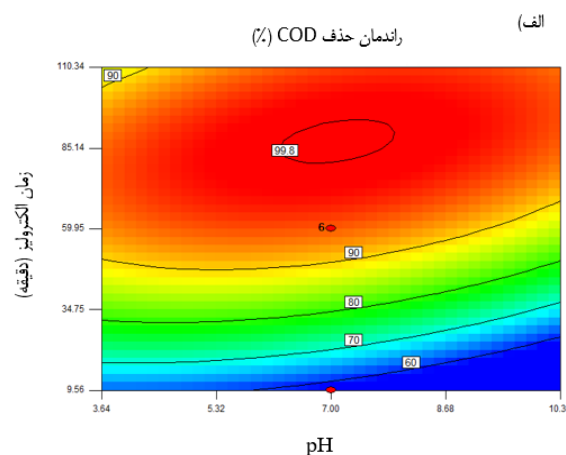


## شکل ۴۴ - پاسخ سطحی سه بعدی و دو بعدی

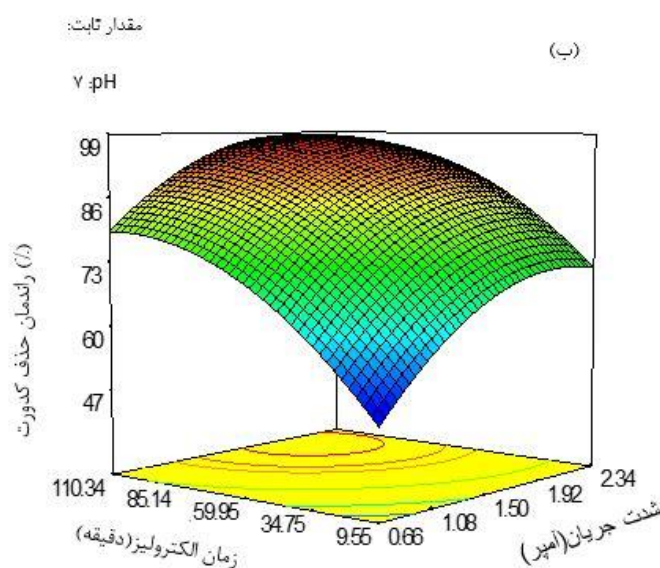
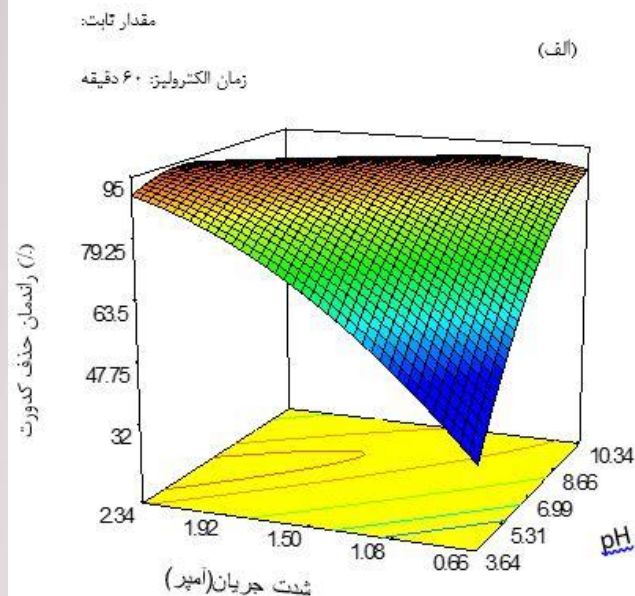
برای راندمان حذف COD،

(الف) متغیر زمان الکترولیز در برابر pH (با شدت جریان ثابت ۱/۵ آمپر)

و (ب) متغیر زمان الکترولیز در برابر شدت جریان (با pH ثابت ۷)



## یافته ها

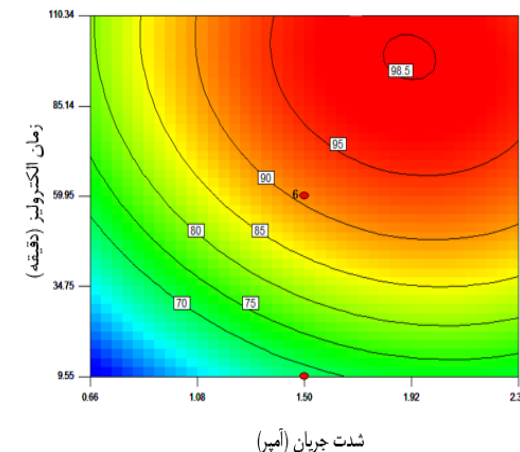
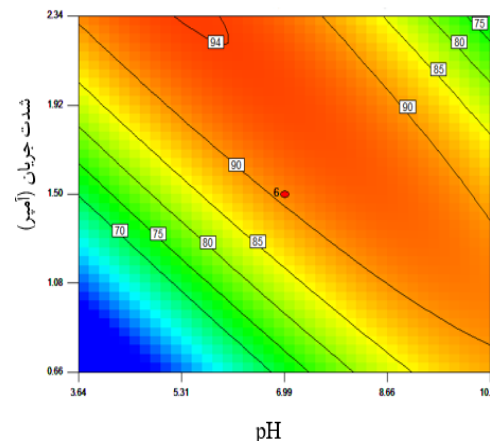


(الف) راندمان حذف کدورت (%)

(ب)

(الف) راندمان حذف کدورت (%)

(ب)



شکل ۴-۵- پاسخ سطحی سه بعدی و

دو بعدی

برای راندمان حذف کدورت،

(الف) متغیر شدت جریان الکتریکی در

برابر pH (با زمان الکترولیز ثابت ۶۰ دقیقه)

و (ب) متغیر زمان الکترولیز در برابر شدت جریان  
(با pH ثابت ۷)



مقدمه

مروری بر منابع

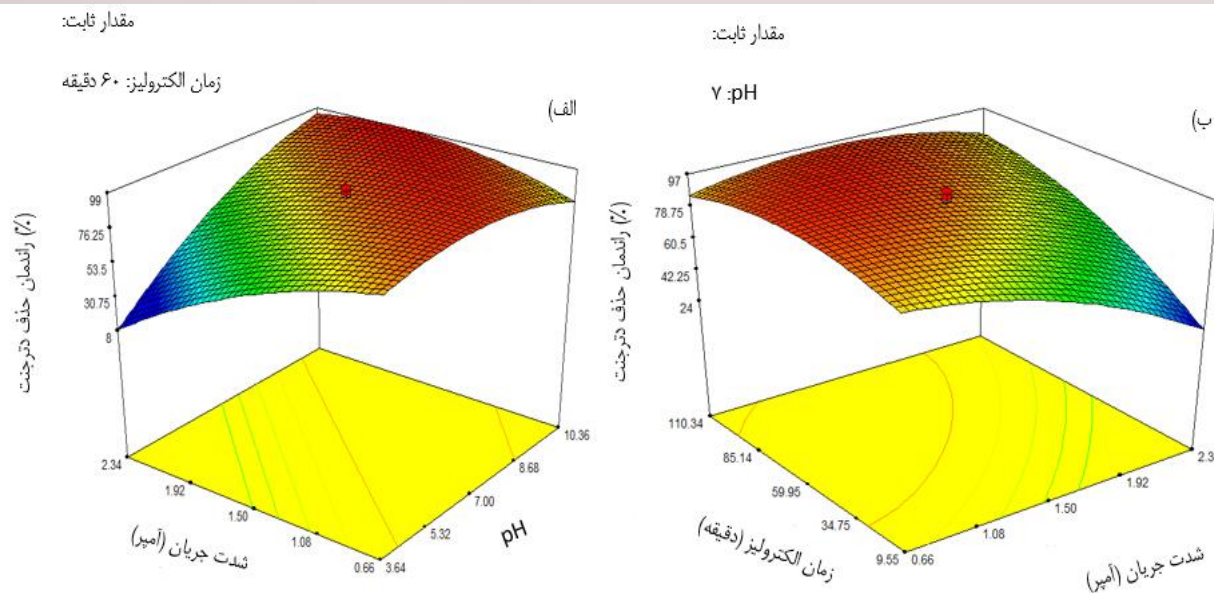
مواد و روش ها

نتایج و بحث

نتیجه گیری

پیشنهادهات

## یافته ها



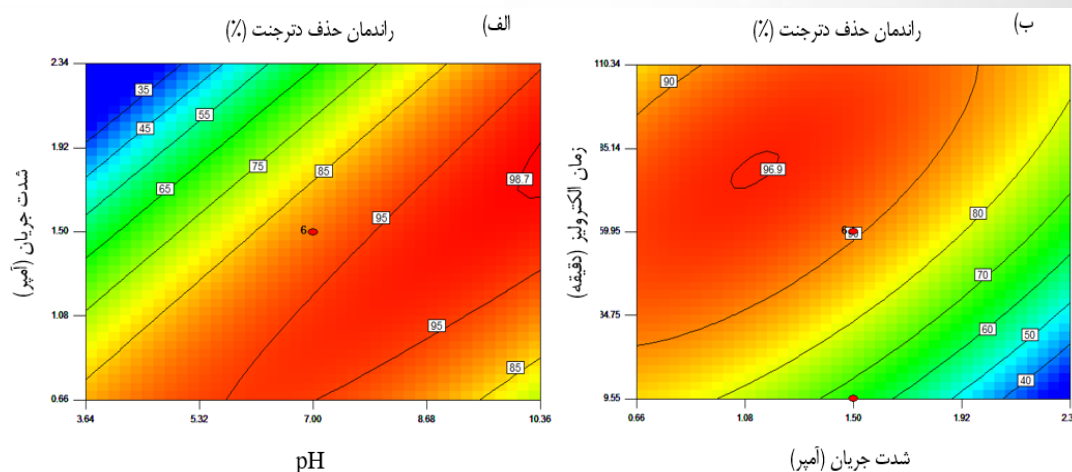
شکل ۴-۶- پاسخ سطحی سه بعدی و

دو بعدی

برای راندمان حذف دترجنت،

(الف) متغیر شدت جریان الکتریکی در  
برابر pH (با زمان الکترولیز ثابت ۶۰  
دقیقه)

و (ب) متغیر زمان الکترولیز در برابر  
شدت جریان (با pH ثابت ۷)







## یافته ها

جدول ۴-۷- بررسی نتایج تجربی در شرایط مطلوب پیش بینی شده توسط مدل

| نتایج راندمان حذف (%) |         |         | شرایط بهینه               |
|-----------------------|---------|---------|---------------------------|
| دترجنت                | کدورت   | COD     | $pH = 7/67$               |
|                       |         |         | شدت جریان = $1/69$ آمپر   |
|                       |         |         | زمان الکترولیز = ۹۰ دقیقه |
|                       |         |         | نتایج آزمایشگاهی          |
|                       |         |         | نتایج پیش بینی مدل        |
| ۹۵ / ۲۰               | ۹۵      | ۹۴ / ۵  | خطا                       |
| ۹۷ / ۹                | ۹۶ / ۶۹ | ۱۰۰     | انحراف معیار              |
| -۲ / ۰۹               | -۱ / ۶۹ | -۵ / ۵  |                           |
| ±۱ / ۲۱               | ±۰ / ۹۴ | ±۱ / ۲۳ |                           |



## بحث

➤ در شدت جریان الکتریکی  $1/5$  آمپر،  $pH = 5 - 10$  در زمان الکترولیز بالا و پایین، **راندمان حذف COD** به تدریج افزایش یافته (تا **۱۰۰ درصد**) است. این امر بدلیل تشکیل کمپلکس های آلومینیم جهت تولید لخته است که میزان کارایی حذف COD افزایش می یابد (۹).

➤ با افزایش شدت جریان در زمان الکترولیز بالا و  $pH = 7$ ، **راندمان حذف COD** افزایش می یابد که محدوده تغییرات راندمان در محدوده ۸۵ درصد تا ۱۰۰ درصد می باشد.

➤ طبق مطالعات ← افزایش جریان الکتریکی باعث افزایش کارایی **حذف COD** می گردد. مقادیر بیشتر آلومینوم حل شده در آند باعث کارایی بالاتر انعقاد و حذف قابل ملاحظه آلاینده های آلی می گردد (۳، ۵).

## بحث

- در pH قلیایی و شدت جریان بالا ← **راندمان حذف کدورت** افزایش می یابد.
- در صورتیکه در pH قلیایی و شدت جریان خیلی بالا این روند معکوس می شود. بیشترین **راندمان حذف کدورت** در pH خنثی و شدت جریان ۲ آمپر مشاهده شد.
- در  $pH = 7$ ، با افزایش زمان الکترولیز در سطوح بالا و پایین شدت جریان، راندمان حذف روند صعودی داشت. که این روند تا زمان ۹۰ دقیقه و شدت جریان ۲ آمپر ادامه دارد.
- در مطالعات بسیاری گزارش شده است که با افزایش زمان واکنش، **راندمان حذف کدورت** نیز افزایش می یابد (۶، ۱۰).
- **راندمان حذف کدورت** به طور مستقیم وابسته به غلظت **یون های  $Al^{3+}$**  و لخته های هیدروکسید می باشد که با گذشت زمان واکنش از سطح الکترودها بیشتر آزاد می شود (۹، ۱۰).

## بحث

- **راندمان حذف دترجنت** با افزایش pH در محدوده های بالای شدت جریان اعمال شده و زمان الکترولیز ۶۰ دقیقه افزایش می یابد. این فرآیند افزایشی در pH خنثی و جریان اعمال شده ۱ آمپر رخ داد.
- **نرخ حذف دترجنت** به تدریج با کاهش شدت جریان در محدوده پایین زمان الکترولیز و pH برابر با ۷، افزایش می یابد. علاوه بر این بازده حذف دترجنت به طور چشمگیری در زمان الکترولیز و شدت جریان اولیه افزایش یافت (به حدود ۱۰۰ درصد رسید).
- در مطالعاتی مشخص شده که با **افزایش شدت جریان**، میزان واکنش صفحات آلومینیومی بیشتر شده، مقادیر بیشتر آلومینیوم در آند حل شده، میزان تولید حباب ها افزایش و در نتیجه میزان **حذف دترجنت** نیز افزایش می یابد (۱۰، ۱۱).



مقدمه

مروری بر منابع

مواد و روش ها

نتایج و بحث

نتیجه گیری

پیشنهادهات

## بحث

## ➤ مقایسه تحقیق حاضر با مطالعات مشابه انجام شده

| محققین<br>(سال)               | روش                                     | فاضلاب | آلاینده ها           | نوع الکترودها<br>(آند-کاتد) | زمان<br>(دقیقه) | شدت جریان<br>الکتریکی            | pH   | راندمان<br>حذف<br>(درصد) | هزینه بهره<br>برداری     |
|-------------------------------|---|--------|----------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|------|--------------------------|--------------------------|
| پریا و جیانتی<br>(۲۰۱۹)       | انعقاد الکتریکی                         | کارواش | COD                  | آلومینیوم-<br>آلومینیوم     | ۴۰              | ۲۵ آمپر بر متر<br>مربع           | ۶    | ۹۵/۱                     | ۵/۳۸ دلار بر<br>متر مکعب |
|                               |   |        | کدورت                |                             |                 |                                  |      | ۹۹                       |                          |
| گوندرو<br>همکاران<br>(۲۰۱۷)   | انعقاد الکتریکی                         | کارواش | COD                  | آلومینیوم-<br>آلومینیوم     | ۳۰              | ۱ میلی آمپر بر<br>سانتی متر مربع | ۶    | ۸۸                       | ۳/۰ دلار بر<br>متر مکعب  |
| پانیزا و<br>سرسیولا<br>(۲۰۱۰) | انعقاد و<br>اکسیداسیون<br>الکتروشیمیایی | کارواش | COD                  | آهن-بورون الماس             | ۱۰۰             | ۲ میلی آمپر بر<br>سانتی متر مربع | ۶/۴  | ۹۷                       | -                        |
|                               |   |        | سورفاکتانت           |                             |                 |                                  |      | ۱۰۰                      |                          |
| گوندرو<br>همکاران<br>(۲۰۱۹)   | انعقاد شناور سازی<br>الکتریکی           | کارواش | COD                  | تیتانیوم-تیتانیوم           | -               | ۳۰ آمپر بر متر<br>مربع           | ۴    | ۸۴                       | ۹/۶۷ دلار بر<br>متر مکعب |
|                               |   |        | سورفاکتانت<br>آنیونی |                             |                 |                                  |      | ۹۹/۳                     |                          |
| مطالعه حاضر                   | جذب+<br>الکتروشیمیایی+<br>فیزیکی        | کارواش | COD                  | آلومینیوم-<br>آلومینیوم     | ۹۰              | ۱/۶۹ آمپر                        | ۷/۶۷ | ۹۴/۵                     | ۰/۴۶ دلار بر<br>متر مکعب |
|                               |   |        | دترجنت               |                             |                 |                                  |      | ۹۵/۲                     |                          |
|                               |   |        | کدورت                |                             |                 |                                  |      | ۹۵                       |                          |

بررسی کارایی فرایند ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی (ECF)، و فیزیکی جهت تصفیه پساب کارواش

## نتیجه گیری کلی

➤ فرآیند ترکیبی جذب، الکتروشیمیایی، و فیزیکی به صورت هم زمان جهت تصفیه فاضلاب واحدهای کارواش شهر قزوین کارا بود و مشخص گردید که این روش می تواند در حذف آلاینده های COD، کدورت و دترجنت در مقیاس کاربردی در عمل راندمان بسیار بالایی داشته باشد.

➤ در این مطالعه از الکترودهای آلومینیوم به صورت آرایش مونوپلار استفاده شد و مشخص گردید که راندمان حذف در مقایسه با مطالعات دیگری که از الکترودهای آهن و تیتانیوم استفاده کردند، بیشتر بود.

➤ اثر pH بر فرآیند تصفیه نشان داد که در pH حدود ۷ تا ۸ بیشترین راندمان حذف آلاینده ها مشاهده شد. دلیل ← غلظت مونومر  $\text{Al(OH)}_4^-$  افزایش یافته و مقدار قابل توجهی از لخته های نامحلول  $\text{Al(OH)}_3$  کاهش می یابد در نتیجه منجر به افزایش راندمان حذف می گردد.



## نتیجه گیری کلی

- طبق نتایج با افزایش مدت زمان الکترولیز، راندمان حذف آلاینده ها افزایش یافته که این امر بدلیل افزایش میزان تولید یون  $Al^{3+}$  در الکتروود آند است زیرا این یون سبب افزایش تولید لخته ها و در نتیجه کاهش بیشتر غلظت آلاینده ها می شود.
- نتایج نشان داد که با افزایش شدت جریان الکتریکی اعمال شده به الکترودها، میزان خوردگی الکتروود آند افزایش یافت و در نتیجه میزان یون  $Al^{3+}$  تولید شده در آند زیاد شده و میزان تولید لخته با افزایش همراه بود و در نتیجه راندمان حذف افزایش داشت.
- فرآیندهای فیزیکی مورد استفاده در این مطالعه که شامل ته نشینی و فیلتراسیون بود به عنوان تصفیه تکمیلی به خوبی عمل کرد، بطوریکه منجر به افزایش راندمان کلی حذف آلاینده ها گردید.



## پیشنها‌د‌ها

### پیشنها‌د‌های اجرایی و پژوهشی

- بررسی استفاده از الکترودهایی که سطح آنها به صورت شبکه ای سوراخ شده باشد.
- بررسی استفاده از الکترودهای ترکیبی با جنس های مختلف (آهنی، تیتانیومی، آلومینیومی) به عنوان کاتد و آند و مقایسه عملکرد تصفیه آنها.
- بررسی استفاده از چند الکتروود به صورت همزمان با آرایش تک قطبی، دو قطبی یا سری.
- بررسی کارایی سیستم تصفیه ترکیبی مورد مطالعه در مقیاس صنعتی



1. Hu C-Y, Lo S-L, Kuan W-H, Lee Y-D. Treatment of high fluoride-content wastewater by continuous electrocoagulation–flotation system with bipolar aluminum electrodes. *Separation and Purification Technology*. 2008;60(1):1-5.
2. Linares-Hernández I, Barrera-Díaz C, Roa-Morales G, Bilyeu B, Ureña-Núñez F. A combined electrocoagulation–sorption process applied to mixed industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;144(1):240-8.
3. Al-Odwani A, Ahmed M, Bou-Hamad S. Carwash water reclamation in Kuwait. *Desalination*. 2007;206(1):17-28.
4. TAKDASTAN A, AZIMI A, SALARI Z. The use of electrocoagulation process for removal of turbidity, COD, detergent and phosphorus from carwash effluent. 2011.
5. Gönder ZB, Balçioğlu G, Vergili I, Kaya Y. Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization. *Journal of Environmental Management*. 2017;200:380-90.
6. Bazrafshan E, KordMostafapoor F, Soori MM, Mahvi AH. Application of combined chemical coagulation and electrocoagulation process to carwash wastewater treatment. *Fresen Environ Bull*. 2012;21(9a):2694-701.
7. Association APH, Association AWW, Federation WPC, Federation WE. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association.; 1915.
8. Chitikela S, Dentel SK, Allen HE. Modified method for the analysis of anionic surfactants as methylene blue active substances. *Analyst*. 1995;120(7):2001-4.
9. Ouaisa YA, Chabani M ,Amrane A, Bensmaili A. Integration of electro coagulation and adsorption for the treatment of tannery wastewater–The case of an Algerian factory, Rouiba. *Procedia Engineering*. 2012;33:98-101.
10. Solak M, Kılıç M, Hüseyin Y, Şencan A. Removal of suspended solids and turbidity from marble processing wastewaters by electrocoagulation: Comparison of electrode materials and electrode connection systems. *Journal of hazardous materials*. 2009;172(1):345-52.
11. Rubí-juárez H, Barrera-díaz C, Ureña-nuñez F. Adsorption-assisted electrocoagulation of real car wash wastewater with equilibrium and kinetic studies. *Pollut Res*. 2017;36(2):175-84.



## مقالات مستخرج از پایان نامه

| عنوان مقاله   | مجله   | کنفرانس  |
|---|--|--|
| Efficiency of Electrocoagulation, Sedimentation and Filtration Hybrid Process in Removing Chemical Oxygen Demand and Turbidity from Carwash Industrial Wastewater: Optimization by Response Surface Methodology | Journal of Mazandaran University of Medical Sciences ( <b>Scopus</b> ) | –  |
| Carwash wastewater treatment by the application of an environmentally friendly hybrid system: an experimental design approach   | Desalination and Water Treatment ( <b>ISI</b> )                        | –  |
| Optimization of the electrochemical and physical hybrid process to remove COD from Carwash Industrial Wastewater  | –  | 3rd International and 21st National Conference on Environmental Health |

## Carwash wastewater treatment by the application of an environmentally friendly hybrid system: an experimental design approach

Mohammad Mahdi Emamjomeh<sup>a</sup>, Hamzeh Ali Jamali<sup>a</sup>, Zohreh Naghdali<sup>b</sup>,  
Milad Mousazadeh<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup>*Social Determinant of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran, email: m\_emamjomeh@yahoo.com (M.M. Emamjomeh), jamalisadraei@gmail.com (H.A. Jamali)*

<sup>b</sup>*Student research committee, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran, email: z.naghdali@gmail.com (Z. Naghdali), m.mousazadeh@qums.ac.ir (M. Mousazadeh)*

Received 5 January 2019; Accepted 9 May 2019

# ***Efficiency of Electrocoagulation, Sedimentation and Filtration Hybrid Process in Removing Chemical Oxygen Demand and Turbidity from Carwash Industrial Wastewater: Optimization by Response Surface Methodology***

Mohammad Mahdi Emamjomeh<sup>1</sup>,

Hamzeh Ali Jamali<sup>1</sup>,

Zohreh Naghdali<sup>2</sup>,

Milad Mousazadeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Social Determinant of Health Research Center, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

<sup>2</sup> MSc in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran



# CERTIFICATE

## OF POSTER PRESENTATION



February 26-28 / 2019  
Zanjan - Iran

This is to certify that **Dr. /Mr. / Ms.**

*Mohammad Mahdi Emamjomeh , Hamzeh Ali Jamali , Zohreh Naghdali , Milad Mousazadeh , Seyede Parvin Moussavi ,  
Seyed Mostafa Hallaji*

have presented a **poster** entitled:

*Optimization of the electrochemical and physical hybrid process to remove COD from Carwash Industrial Wastewater*

In the **3<sup>rd</sup> International and 21<sup>st</sup> National Conference on Environmental Health,**  
Zanjan-Iran

**Dr. Alireza Mesdaghinia**

President of Iranian Association  
of Environmental Health

**Dr. Parviz Ghezelbash**

Chancellor of Zanjan University of Medical  
Sciences and Health Services  
and the Chairman of the International  
Conference on Environmental Health



تَشْكُرُ

و

مَدْرَدَانِي







از توجه شما سپاسگزارم